

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-328605

(43) 公開日 平成 8 年 (1996) 12 月 13 日

(51) Int. Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 B 13/02		0360-3H	G 0 5 B 13/02	J
// F 1 6 H 61/14			F 1 6 H 61/14	G C3

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願平7-162813

(22) 出願日 平成 7 年 (1995) 6 月 5 日

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41 番地
の 1

(72) 発明者 河野 克己

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

(74) 代理人 弁理士 五十嵐 孝雄 (外 3 名)

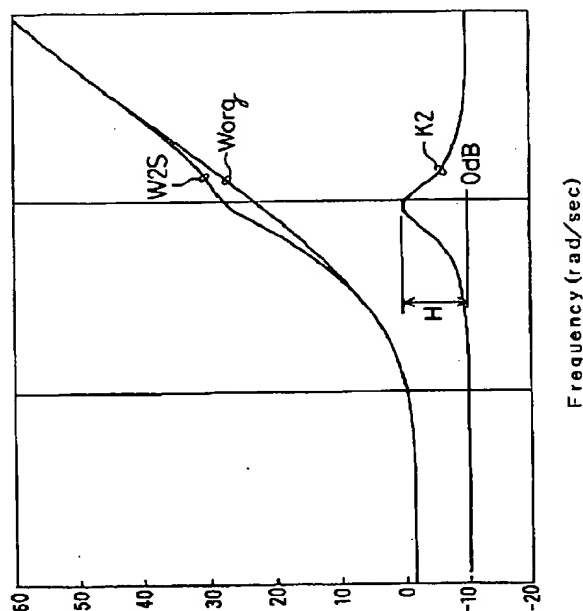
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御装置及びその製造方法、並びにクラッチのスリップ制御装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 ロックアップクラッチ 3 2 のスリップ制御を、クラッチの摩擦材や作動油の劣化などにより特性変化に関わらず、安定かつ追従性良く実現する。また、過渡応答時の収束性を改善する。

【構成】 特性変化を周波数領域で高次の関数として把握し、制御が安定かつ追従性に優れる条件を、制御系の感度関数および補感度関数として表現する。即ち、制御系の設計を H_∞ 制御の混合感度問題として整理し、特性変動を近似した次数と同程度の次数でコントローラを設計する。更に、補感度関数 T を評価し、ピークが存在する場合には、対応する周波数領域において、重み付け関数 W_2 を増分補正する。こうして設計されたコントローラによりクラッチのスリップ回転速度を制御する。



(8P) ページ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 制御対象の状態を検出する検出手段を備え、該制御対象の実際状態が目標状態に一致するよう該制御対象を制御する操作量指令値を求め、この操作量指令値に応じて該制御対象の状態を調整する制御装置であって、

前記操作量指令値と実際状態との入出力周波数特性の変化を近似する高次の関数を用い、前記状態をフィードバック制御する系の応答性および安定性を充足するよう設定され、かつ前記制御対象について設定された補感度関数がピークを有する周波数領域については増分補正された定数を記憶する記憶手段と、

該記憶手段に記憶された定数を用いて、離散的に、現時点から複数回前までの前記操作量指令値を反映した第 1 のパラメータを求める操作量指令値来歴手段と、

前記記憶手段に記憶された定数を用いて、離散的に、現時点から複数回前までの目標状態と実際状態との偏差を反映した第 2 のパラメータを求める制御量偏差来歴手段と、

前記第 1、第 2 のパラメータに基づいて、次の操作量指令値を求める操作指令値演算手段とを備えた制御装置。

【請求項 2】 特性変化が想定される制御対象を安定に制御する制御装置について、感度関数と補感度関数との相補性を満足するよう重み付け関数の特性を設計する制御装置の製造方法であって、

制御対象に設定された補感度関数が所定の周波数領域にピークを有する場合、該周波数領域に対応する領域において、前記重み付け関数に所定の増分を加算する制御装置の製造方法。

【請求項 3】 クラッチの実際のスリップ回転速度を検出するスリップ回転速度検出手段を備え、該実際のスリップ回転速度が目標スリップ回転速度 N^* に一致するようクラッチの操作量指令値を求め、この操作量指令値に応じてスリップ状態を調整するスリップ制御装置であって、

前記操作量指令値と実際スリップ回転速度との入出力周波数特性の変化を近似する高次の関数を用い、前記スリップ状態をフィードバック制御する系の応答性および安定性を充足するよう設定され、かつ前記スリップ回転数を制御する系について設定された補感度関数がピークを有する周波数領域については増分補正された定数を記憶する記憶手段と、

該記憶手段に記憶された定数を用いて、離散的に、現時点から複数回前までの前記操作量指令値を反映した第 1 のパラメータを求める操作量指令値来歴手段と、

前記記憶手段に記憶された定数を用いて、離散的に、現時点から複数回前までの目標スリップ回転速度と実際スリップ回転速度との偏差量を反映した第 2 のパラメータを求める制御量偏差来歴手段と、

前記第 1、第 2 のパラメータに基づいて、次の操作量指

令値を求める操作指令値演算手段とを備えたクラッチのスリップ制御装置。

【請求項 4】 目標スリップ回転速度と実際スリップ回転速度とが一致するようにクラッチの操作量指令値を出力し、該出力された操作量指令値に応じてスリップ状態を調整するスリップ制御装置の製造方法であって、前記スリップ状態を調整する系の特性変化を、該特性変化をもたらす要因毎に測定し、該複数の要因による特性変化の全体的特性を高次の第 1 の重み付け関数として近似的に把握し、

スリップ状態をフィードバック制御する系が前記特性変化に対して安定である条件として、

前記第 1 の重み付け関数と前記目標スリップ回転速度から実際スリップ速度までの伝達関数とを勘案した量である補感度関数、および前記目標スリップ回転速度から制御偏差までの伝達関数と応答性を確保するために設けた第 2 の重み付け関数とを勘案した量である感度関数を評価し、

次に、前記補感度関数がピークを有する周波数領域では、前記第 1 の重み付け関数について、増分補正を行なった上で、評価を行ない、

該評価に基づいて、前記フィードバック系の制御量を求めるための定数を決定するクラッチのスリップ制御装置の製造方法。

【請求項 5】 目標スリップ回転速度と実際スリップ回転速度とが一致するようにクラッチの操作量指令値を出力し、該出力された操作量指令値に応じてスリップ状態を調整するスリップ制御装置の製造方法であって、前記スリップ状態を調整する系の特性変化を、該特性変化をもたらす要因毎に測定し、該複数の要因による特性変化の全体的特性を高次の第 1 の重み付け関数として近似的に把握し、

スリップ状態をフィードバック制御する系が前記特性変化に対して安定である条件として、

前記第 1 の重み付け関数と前記目標スリップ回転速度から実際スリップ速度までの伝達関数とを勘案した量である補感度関数、

前記目標スリップ回転速度から制御偏差までの伝達関数と応答性を確保するために設けた第 2 の重み付け関数とを勘案した量である感度関数、およびスリップ速度を変動させ得るところのスリップ制御系に加わるトルクの変動であるトルク外乱からスリップ回転速度までの伝達関数と、前記第 1 の重み付け関数を勘案した量と、応答性を確保するために設けた第 2 の重み付け関数と、目標スリップ回転速度から制御偏差までの伝達関数とを勘案した量を評価し、

次に、前記補感度関数がピークを有する周波数領域では、前記第 1 の重み付け関数について、増分補正を行なった上で、評価を行ない、

該評価に基づいて、前記フィードバック系の制御量を求

10

20

30

40

50

めるための定数を決定するクラッチのスリップ制御装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、制御装置及びその製造方法、並びにクラッチのスリップ制御装置およびその製造方法に関し、詳しくは一般的な制御対象についてその状態を目標状態に一致させるよう操作量指令値を出力し、制御対象の状態を制御する制御装置及びその製造方法と、かかる制御の一適用対象として、目標スリップ回転速度と実際のスリップ回転速度とが一致するようにクラッチの操作量指令値を出力し、該出力された操作量指令値に応じてスリップ状態を調整するクラッチのスリップ制御装置およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】制御理論の発展と共に、種々の制御装置が設計され、製造されているが、その一つをクラッチのスリップ制御装置を例に挙げて説明する。クラッチのスリップ制御装置は、例えばトルクコンバータのロックアップクラッチの滑りを制御するものが種々知られている。これらのスリップ制御装置は、トルクコンバータの入力、出力を直結したのでは低エンジン回転域ではエンジンの振動が直接変速機側に伝わって乗り心地を悪化し、他方回転数の広い範囲で入力、出力の結合を解放したのでは、燃費低減作用が有効に活用されないという相反した問題を解決するものである。

【0003】従来、こうしたスリップ制御装置は、高い応答性と制御の安定性とをいかに両立させるかという点を中心に改良が続けられ、例えば現時刻の操作量指令値を目標スリップ回転速度と実際のスリップ回転速度との差である制御偏差量と、この偏差量の微分量および積分量もしくはこの偏差の微分量と更にその二階の微分量から算出するものが提案されている（特公平2-586号）。あるいは、これらの量を時系列量に展開して操作量の増分を算出するものも提案されている（特開昭64-30966号）。これらの制御装置では、十分な合わせ込みがなされていれば、所定の作動を行ない、スリップ量を目標値に安定に維持・制御すると共に、安定性を損なうことなく目標値に対する高い追従性を実現することができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、これらの制御装置では、クラッチのスリップ状態を制御する系の特性の変化に対して、十分な制御が実現できないという問題があった。ロックアップクラッチならびにスリップ量を制御する油圧制御系の固体間の差が大きい場合、あるいは制御系が設計された初期状態から摩擦材および作動油の劣化によりロックアップクラッチの摩擦特性、即ちクラッチの $\mu-v$ 特性がスリップ速度の安定性を損なうような変化をきたした場合には、スリップ量を目標

値に安定かつ高速に制御することができないのである。この点を図を用いて簡明に説明する。

【0005】スリップ制御系の特性の変化を操作量指令値からスリップ速度までの伝達関数のゲインと位相により図示する。図36は、設計時の特性の固体間のバツキを示すグラフである。クラッチの特性は、摩擦材の不安定さや摩擦材の押しつけ方などにより、固体間で、特に高周波域でばらつく。また、図37に示すように、摩擦材がすり減ったり、作動油が経時的、熱的に劣化すると、特性は中高周波域において、ゲイン・位相特性とも設計時の特性から下がってくる。こうした各部の劣化により、摩擦特性は図39に示すように、高周波域で共振のピークを持つことがある。この場合には、摩擦材がステックスリップと呼ばれる挙動を示すことがあり、数十ヘルツの自励発振を起こす場合もある。こうしたケースでは、スリップ回転速度の制御の安定性は、全く損なわれてしまう。

【0006】これは、従来の制御装置が、クラッチの制御特性の大きな変化がないことを前提に、即ち所定の制御特性下で制御の安定性と追従性を満足するよう調整されていることによる。もとより、目標スリップ回転数と実際の回転数の偏差、その微分量（偏差量）ならびに二階微分量を用いた制御装置において、これらの量に掛ける制御定数を、制御系の特性の変化に応じて切り換える方式も考えられるが、制御系の構成が徒に複雑になる上、切替アルゴリズムの安定性が必ずしも保証されておらず、現実的な解決とはならない。

【0007】こうした特性変化の問題は、現実の装置では常に存在するので、実際に用いられる制御装置では、制御の安定性を優先するあまり、制御系の応答性を緩やかなものとすることが多い。この結果、定常的な運転状態が長く続くような状況下では、目標スリップ回転速度を安定に維持するが、入力側であるエンジンのトルク変動を遮断したり、目標スリップ回転速度が変動する過渡運転状態に追従してトルクの伝達効率を高めることができなかった。

【0008】本発明の制御装置は、こうした問題を解決し、制御対象に特性変化が生じた場合にも安定性を損なうことがなく、かつ制御における高い応答性を実現することを目的としている。かかる制御装置及びその製造方法の好適な適用例として、クラッチのスリップ制御装置及びその製造方法をあげることができる。本発明は、こうした目的を達成するために、次の構成を採った。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の制御装置は、制御対象の状態を検出する検出手段を備え、該制御対象の実際の状態が目標状態に一致するよう該制御対象を制御する操作量指令値を求め、この操作量指令値に応じて該制御対象の状態を調整する制御装置であって、前記操作量指令値と実際の状態との入出力周波数特性の変化を近

似する高次の関数を用い、前記状態をフィードバック制御する系の応答性および安定性を充足するよう設定され、かつ前記制御対象について設定された補感度関数がピークを有する周波数領域については増分補正された定数を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶された定数を用いて、離散的に、現時点から複数回前までの前記操作量指令値を反映した第 1 のパラメータを求める操作量指令値来歴手段と、前記記憶手段に記憶された定数を用いて、離散的に、現時点から複数回前までの目標状態と実際の状態との偏差を反映した第 2 のパラメータを求める制御量偏差来歴手段と、前記第 1、第 2 のパラメータに基づいて、次の操作量指令値を求める操作指令値演算手段とを備えたことを要旨とする。

【0010】また、本発明の制御装置の製造方法は、特性変化が想定される制御対象を安定に制御する制御装置について、感度関数と補感度関数との相補性を満足するよう重み付け関数の特性を設計する制御装置の製造方法であって、制御対象に設定された補感度関数が所定の周波数領域にピークを有する場合、該周波数領域に対応する領域において、前記重み付け関数に所定の増分を加算することを要旨とする。

【0011】上記発明は、クラッチのスリップ制御に適用できることから、本発明のクラッチのスリップ制御装置はクラッチの実際のスリップ回転速度を検出するスリップ回転速度検出手段を備え、該実際のスリップ回転速度が目標スリップ回転速度 N に一致するようクラッチの操作量指令値を求め、この操作量指令値に応じてスリップ状態を調整するスリップ制御装置であって、前記操作量指令値と実際のスリップ回転速度との入出力周波数特性の変化を近似する高次の関数を用い、前記スリップ状態をフィードバック制御する系の応答性および安定性を充足するよう設定され、かつ前記スリップ回転数を制御する系について設定された補感度関数がピークを有する周波数領域については増分補正された定数を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶された定数を用いて、離散的に、現時点から複数回前までの前記操作量指令値を反映した第 1 のパラメータを求める操作量指令値来歴手段と、前記記憶手段に記憶された定数を用いて、離散的に、現時点から複数回前までの目標スリップ回転速度と実際のスリップ回転速度との偏差量を反映した第 2 のパラメータを求める制御量偏差来歴手段と、前記第 1、第 2 のパラメータに基づいて、次の操作量指令値を求める操作指令値演算手段とを備えたことを要旨とする。

【0012】更に本発明のクラッチのスリップ制御装置の製造方法は、目標スリップ回転速度と実際のスリップ回転速度とが一致するようにクラッチの操作量指令値を出力し、該出力された操作量指令値に応じてスリップ状態を調整するスリップ制御装置の製造方法であって、前記スリップ状態を調整する系の特性変化を、該特性変化をもたらす要因毎に測定し、該複数の要因による特性変

化の全体的特性を高次の第 1 の重み付け関数として近似的に把握する行程 S 1 と、スリップ状態をフィードバック制御する系が前記特性変化に対して安定である条件として、前記第 1 の重み付け関数と前記目標スリップ回転速度から実際のスリップ速度までの伝達関数とを勘案した量である補感度関数、および前記目標スリップ回転速度から制御偏差までの伝達関数と応答性を確保するために設けた第 2 の重み付け関数とを勘案した量である感度関数を評価し、次に、前記補感度関数がピークを有する周波数領域では、前記第 1 の重み付け関数について、増分補正を行なった上で、評価を行なう行程 S 2 と、該評価に基づいて、前記フィードバック系の制御量を求めるための定数を決定する行程 S 3 とからなることを要旨とする。

【0013】本発明の他のクラッチのスリップ制御装置の製造方法は、目標スリップ回転速度と実際のスリップ回転速度とが一致するようにクラッチの操作量指令値を出力し、該出力された操作量指令値に応じてスリップ状態を調整するスリップ制御装置の製造方法であって、前記スリップ状態を調整する系の特性変化を、該特性変化をもたらす要因毎に測定し、該複数の要因による特性変化の全体的特性を高次の第 1 の重み付け関数として近似的に把握し、スリップ状態をフィードバック制御する系が前記特性変化に対して安定である条件として、前記第 1 の重み付け関数と前記目標スリップ回転速度から実際のスリップ速度までの伝達関数とを勘案した量である補感度関数、前記目標スリップ回転速度から制御偏差までの伝達関数と応答性を確保するために設けた第 2 の重み付け関数とを勘案した量である感度関数、およびスリップ速度を変動させ得るところのスリップ制御系に加わるトルクの変動であるトルク外乱からスリップ回転速度までの伝達関数と、前記第 1 の重み付け関数を勘案した量と、応答性を確保するために設けた第 2 の重み付け関数と、目標スリップ回転速度から制御偏差までの伝達関数とを勘案した量を評価し、次に、前記補感度関数がピークを有する周波数領域では、前記第 1 の重み付け関数について、増分補正を行なった上で、評価を行ない、該評価に基づいて、前記フィードバック系の制御量を求めるための定数を決定することを要旨とする。

【0014】

【作用】以上のように構成された本発明の制御装置では、記憶手段が、制御対象の状態をフィードバック制御する系の応答性および安定性を充足するよう設定され、かつ前記制御対象について設定された補感度関数がピークを有する周波数領域については増分補正された定数を記憶している。この定数は、操作量指令値 $u(k)$ と実際の状態との入出力周波数特性の変化を近似する高次の関数を用いて設定されたものである。操作量指令値来歴手段は、この定数を用いて、離散的に、現時点から複数回 (n 回) 前までの前記操作量指令値 $u(k-1) \cdots$

$u(k-n)$ を反映した第 1 のパラメータ A を求める。一方、検出手段により制御対象の実際の状態検出すると共に、制御量偏差来歴手段により、離散的に、現時点から複数回 (m 回) 前までの目標状態と実際の状態との偏差量 $e(k) \cdots e(k-m)$ を反映した第 2 のパラメータ B を、記憶手段に記憶された定数を用いて求める。こうして求めた第 1、第 2 のパラメータ A 、 B に基づいて、操作指令値演算手段は、次の操作量指令値 $u(k)$ を求める。本発明の制御装置は、こうして求めた操作量指令値 $u(k)$ により、制御対象の実際の状態が目標状態に一致するよう制御する。

【0015】即ち、本発明の制御装置は、操作量指令値 $u(k)$ と実際の状態との入出力周波数特性の変化を近似した高次の関数を用いて、制御対象の状態をフィードバック制御する系の応答性および安定性を充足するよう決定され、かつ前記制御対象について設定された補感度関数がピークを有する周波数領域については増分補正された定数を使って、両パラメータ A 、 B を演算する。この結果、制御における安定性と応答性が、特性変動に対して十分に確保されるばかりでなく、補感度関数にピークが存在する場合でも、応答性の低下を招くことなく、制御の安定性（収束性）を十分な状態に保つことができる。

【0016】かかる制御装置を設計・製造する方法は、つまるところ、特性変化が想定される制御対象を安定に制御する制御装置について、感度関数と補感度関数との相補性を満足するよう重み付け関数の特性を設計する制御装置の製造方法に該当し、制御対象に設定された補感度関数が所定の周波数領域にピークを有する場合、該周波数領域に対応する領域において、前記重み付け関数に所定の増分を加算する。

【0017】更に、本発明のクラッチのスリップ制御装置では、記憶手段が、スリップ状態をフィードバック制御する系の応答性および安定性を充足するよう設定され、かつ前記スリップ回転数を制御する系について設定された補感度関数がピークを有する周波数領域については増分補正された定数を記憶している。この定数は、操作量指令値 $u(k)$ と実際のスリップ回転速度 N_{sl} との入出力周波数特性の変化を近似する高次の関数を用いて設定されたものである。操作量指令値来歴手段は、この定数を用いて、離散的に、現時点から複数回 (n 回) 前までの前記操作量指令値 $u(k-1) \cdots u(k-n)$ を反映した第 1 のパラメータ A を求める。一方、スリップ回転速度検出手段によりクラッチ CL の実際のスリップ回転速度 N_{sl} を検出すると共に、制御量偏差来歴手段 $M4$ により、離散的に、現時点から複数回 (m 回) 前までの目標スリップ回転速度 N^* と実際のスリップ回転速度 N_{sl} との偏差量 $e(k) \cdots e(k-m)$ を反映した第 2 のパラメータ B を、記憶手段に記憶された定数を用いて求める。こうして求めた第 1、第 2 のパラメータ A 、

B に基づいて、操作指令値演算手段は、次の操作量指令値 $u(k)$ を求める。本発明のクラッチのスリップ制御装置は、こうして求めた操作量指令値 $u(k)$ により、実際のスリップ回転速度 N_{sl} が目標スリップ回転速度 N^* に一致するよう制御する。

【0018】即ち、本発明のクラッチのスリップ制御装置は、操作量指令値 $u(k)$ と実際のスリップ回転速度 N_{sl} との入出力周波数特性の変化を近似した高次の関数を用いて、スリップ状態をフィードバック制御する系の応答性および安定性を充足するよう決定され、かつスリップ回転数を制御する系について設定された補感度関数がピークを有する周波数領域については増分補正された定数を使って、両パラメータ A 、 B を演算する。

【0019】ここで、操作量指令値来歴手段および制御量偏差来歴手段は、5 次以上の来歴情報として各パラメータを求める手段とすることも、実際の制御系の特性変化の解析に鑑み、好適である。なお、両手段が、離散的に、遡る回数 (n もしくは m) は、理論上は同一回数として扱うのが通常であるが、異なる回数であっても差し支えない。

【0020】本発明のクラッチのスリップ制御装置の製造方法は、工程 $S1$ で、スリップ状態を調整する系の特性変化を、該特性変化をもたらす要因毎に測定し、該複数の要因による特性変化の全体的特性を高次の重み付け関数 $W2$ として近似的に把握し、工程 $S2$ で、スリップ状態をフィードバック制御する系が前記特性変化に対して応答性および安定性の要請を満たす条件として、前記第 1 の重み付け関数 $W2$ と前記目標スリップ回転速度 N^* から実際のスリップ速度 N_{sl} までの伝達関数とを勘案した量、および前記目標スリップ回転速度 N^* から制御偏差までの伝達関数と応答性を確保するために設けた第 1 の重み付け関数 $W2$ とを勘案した量を評価し、かつ、スリップ制御を行う系の補感度関数がピークを有する周波数領域では、前記第 1 の重み付け関数について、増分補正を行なった上で、評価を行なう。そして、この評価に基づいて、工程 $S3$ で、フィードバック系の制御量を求めるための定数を決定する。

【0021】また、本発明の他のスリップ制御装置の製造方法は、上記工程 $S2$ において、更にスリップ速度を変動させ得るところのスリップ制御系に加わるトルクの変動であるトルク外乱からスリップ回転速度 N_{sl} までの伝達関数と、前記第 1 の重み付け関数 $W2$ を勘案した量と、前記第 2 の重み付け関数 $W1$ と、前記目標スリップ回転速度 N^* から制御偏差までの伝達関数とを勘案した量とを評価する。

【0022】こうして製造されたスリップ制御装置は、操作量指令値 $u(k)$ を出力することにより、実際のスリップ回転速度 N_{sl} が目標スリップ回転速度 N^* に一致するようスリップ状態を調整する。また、スリップ速度を変動するようなトルクの外乱に対しても、実際のスリ

10

20

30

40

50

ップ回転速度 N_{sl} が目標スリップ回転速度 N^* に一致するようにスリップ状態を調整する。更に、補感度関数にピークが存在しても、これに対処し、応答性の低下を最小限度に留めつつ、系の安定性（収束性）を良好な状態に保つ。

【0023】

【実施例】以上説明した本発明の構成・作用を一層明らかにするために、以下本発明の好適な実施例について説明する。図1は、後述する補感度関数 T がピークを有する場合の重み付け関数 $W2$ の増分補正の様子を示すグラフ、図2は、これに対応する補感度関数 T の形状を示すグラフである。また、図3は、本発明の一実施例であるクラッチのスリップ制御装置が適用される車両用動力伝達装置を示す図である。説明の都合上、まず図3以下を用いて、実施例のハードウェア構成、スリップ制御装置における処理の一例、更にスリップ制御装置の設計・製造方法について説明する。図1および図2は、本願発明の特徴を示すグラフとして、これらの説明の後に参照する。

【0024】まず、実施例におけるクラッチのスリップ制御装置のハードウェア構成について説明する。図3に示すように、エンジン10の動力は、ロックアップクラッチ付トルクコンバータ12および3組の遊星歯車ユニットなどから構成された有段式自動変速機14、更には図示しない差動歯車装置などを経て駆動輪へ伝達されるようになっている。トルクコンバータ12は、エンジン10のクランク軸16と連結されているポンプ翼車18と、自動変速機14の入力軸20とに固定されている。このトルクコンバータ12は、ポンプ翼車18からのオイルを受けて回転するタービン翼車22と、非回転部材であるハウジング26に一方クラッチ24を介して固定されたステータ翼車28と、ダンバ30を介して上記入力軸20に連結されたロックアップクラッチ32とを備えている。ロックアップクラッチ32は、トルクコンバータ12の入出力部材、すなわちクランク軸16および入力軸20を直結状態とするものである。トルクコンバータ12の係合側油室35内の油圧が解放側油室33よりも高められると、ロックアップクラッチ32が係合状態とされ、クランク軸16の回転はそのまま入力軸20に伝達される。他方、トルクコンバータ12内の解放側油室33内の油圧が係合側油室35よりも高められると、ロックアップクラッチ32が非係合状態とされ、トルクコンバータ12は、その本来の働き、即ち入出力回転速度比に応じた増幅率でトルクを変換し、クランク軸16の回転を入力軸20に伝達する。

【0025】自動変速機14は、この入力軸20と出力軸34とを備え、複数の油圧式摩擦係合装置の作動の組み合わせにより、複数の前進ギヤ段および後進ギヤ段のうちの1つが選択的に噛み合った状態とされる有段式遊星歯車装置として構成されている。この自動変速機14

のギヤ段を制御するための変速制御用油圧制御回路44と、ロックアップクラッチ32の係合を制御するための係合制御用油圧制御回路46とが設けられている。変速制御用油圧制御回路44は、よく知られているようにソレノイドNo. 1およびソレノイドNo. 2によってそれぞれオンオフ駆動される第1電磁弁48および第2電磁弁50を備えておみみみみみみみみり、それら第1電磁弁48および第2電磁弁50の作動の組み合わせによって、クラッチおよびブレーキが選択的に作動させられ、第1速ないし第4速のうちのいずれかの変速が実現される。

【0026】係合制御用油圧制御回路46は、リニアソレノイド弁52と、切換弁54とスリップ制御弁56とを備える。このリニアソレノイド弁52は、変速制御用油圧制御回路44内で発生させられる一定のモジュレータ圧 P_{modu} を元圧としており、リニアソレノイドであるソレノイドNo. 3に流される電流に応じてリニアに作動する。即ち、リニアソレノイド弁52は、電子制御装置（ECT）42からの駆動電流 I_{sol} の大きさに応じた大きさの出力圧 P_{lin} を連続的に発生させる。この出力圧 P_{lin} は切換弁54およびスリップ制御弁56に供給される。切換弁54は、ロックアップクラッチ32を解放状態とする解放側位置とロックアップクラッチ32を係合状態とする係合側位置とを有する。また、スリップ制御弁56は、変速制御用油圧制御回路44内の図示しないクラッチ圧調圧弁によりスロットル弁開度に応じて発生させられるレギュレータ圧 P_{cl} を元圧として動作する。

【0027】上記切換弁54は、図示しないスプール弁子を解放側位置へ向かって付勢するスプリング58と、前記レギュレータ圧 P_{cl} が供給される第1ポート60と、スリップ制御弁56の出力圧が供給される第2ポート62と、解放側油室33に接続された第3ポート64と、係合側油室35に接続された第4ポート66と、ドレンに接続された第5ポート68とを備えている。切換弁54は、それに供給されるリニアソレノイド弁52の出力圧 P_{lin} が予め定められた一定の値を下回ると、そのスプール弁子がスプリング58の付勢力に従って上記解放側位置（図3の状態）とし、第2ポート62を閉塞させるとともに第1ポート60と第3ポート64、および第4ポート66と第5ポート68の間をそれぞれ連通する。このため、切換弁54のスプール弁子に作用するリニアソレノイド弁52の出力圧 P_{lin} が予め定められた一定の値を下回ると、切換弁54のスプール弁子がスプリング58の付勢力に従って解放側位置に位置させられて、解放側油室33内の油圧 P_{off} がレギュレータ圧 P_{cl} とされると同時に係合側油室35内の油圧 P_{on} が大気圧とされてロックアップクラッチ32が解放される。従って、この時、トルクコンバータ12はトルクを変換して伝達するトルクコンバータ本来の動作を行なう。

11

【0028】他方、切換弁54のスプール弁子に作用されるリニアソレノイド弁52の出力圧 P_{lin} が予め定められた一定の値を超えると、切換弁54のスプール弁子がスプリング58の付勢力に抗して係合側位置へ切り換えられて、第5ポート68を閉塞するとともに、第1ポート60と第4ポート66、および第2ポート62と第3ポート64の間をそれぞれ連通する。このため、係合側油室35内の油圧 P_{on} がレギュレータ圧 P_{cl} とされると同時に、解放側油室33内の油圧 P_{off} がスリップ制御弁56により圧力制御され、ロックアップクラッチ32がスリップ制御されあるいは係合される。

【0029】上記スリップ制御弁56は、図示しないスプール弁子を出力圧増加側へ付勢するためのスプリング70を備えている。このスプール弁子には、出力圧増加側へ向かう推力を発生させるために係合側油室35内の油圧 P_{on} が作用させられているとともに、出力圧減少側へ向かう推力を発生させるために解放側油室33内の油圧 P_{off} およびリニアソレノイド弁52の出力圧 P_{lin} がそれぞれ作用させられている。このため、スリップ制御弁56は、数式1に示すように、スリップ量に対応する差圧 $\Delta P (= P_{on} - P_{off})$ がリニアソレノイド弁52の出力圧 P_{lin} に対応した値となるように作動する。ここで、数式1において、 F はスプリング70の付勢力、 A_1 はスプール弁子における油圧 P_{on} の受圧面積、 A_2 （但し $A_1 = A_2$ ）は油圧 P_{off} の受圧面積、 A_3 は出力圧 P_{lin} の受圧面積である。

【0030】

【数1】

$$\Delta P = P_{on} - P_{off}$$

$$= (A_3 - A_1) P_{lin} - F / A_1$$

... (1)

【0031】したがって、上記のように構成されている係合制御用油圧制御回路46では、係合側油室35内の油圧 P_{on} および解放側油室33内の油圧 P_{off} は、図4に示すように、リニアソレノイド弁52の出力圧 P_{lin} に応じて変化させられるので、リニアソレノイド弁52の出力圧 P_{lin} によって切換弁54の切換制御と、その切換弁54が係合位置へ切り換えられた後のロックアップクラッチ32のスリップ制御とがそれぞれ行なわれ得るのである。

【0032】次に、スリップ制御の処理を司る電子制御装置42の構成およびその設計について詳細に説明する。電子制御装置42は、周知のCPU82、ROM84、RAM86、図示しないインターフェース回路などから成るいわゆるマイクロコンピュータである。本実施例では、この電子制御装置42のインターフェース回路には、エンジン10の吸気配管に設けられたスロットル弁開度を検出するスロットルセンサ88、エンジン10の回転速度を検出するエンジン回転速度センサ90、自動

12

変速機14の入力軸20の回転速度を検出する入力軸回転センサ92、自動変速機14の出力軸34の回転速度を検出する出力軸回転センサ94、シフトレバー96の操作位置、すなわちL、S、D、N、R、Pレンジのいずれかを検出するための操作位置センサ98が接続されている。電子制御装置42は、これらのセンサから、インターフェース回路を介して、スロットル弁開度 θ_{th} 、エンジン回転速度 N_e （ポンプ翼車回転速度 N_P ）、入力軸回転速度 N_{in} （タービン翼車回転速度 N_t ）、出力軸回転速度 N_{out} 、シフトレバー96の操作位置 P_s をそれぞれ入力する。

【0033】電子制御装置42のCPU82は、RAM86をワークエリアとして利用しつつ、予めROM84に記憶されたプログラムに従って入力信号を処理し、自動変速機14の変速制御およびロックアップクラッチ32の係合制御を実行するために第1電磁弁48、第2電磁弁50およびリニアソレノイド弁52を適宜制御する。上記変速制御では、予めROM84に記憶された複数種類の変速線図から実際の変速ギヤ段に対応した変速線図を選択し、その変速線図から車両の走行状態、たとえばスロットル弁開度 θ_{th} と出力軸回転速度 N_{out} から算出された車速 SPD とに基づいて変速ギヤ段を決定し、その変速ギヤ段が得られるように第1電磁弁48、第2電磁弁50を駆動する。こうして、自動変速機14のクラッチおよびブレーキの作動が制御され、前進4段のうちのいずれかの噛み合わせが成立させ、所望の変速が実現される。

【0034】電子制御装置42の内部では、図5に示す処理が実行される。図5は、電子制御装置42が実行するスリップ制御処理ルーチンを示すフローチャートである。電子制御装置42は、車両の運転状況から、スリップ制御を行なう領域にあると判断すると、このスリップ制御処理ルーチンを、数ミリ秒程度インターバルで、この処理を繰り返し実行する。スリップ制御を行なう条件か否かは、出力軸回転速度 N_{out} とスロットル弁開度 θ_{th} とから判断されるが、この条件の一例を図6に示す。

【0035】図6に示すスリップ制御領域に入っていると判断され場合、実施例では、図5に示すスリップ制御処理ルーチンを起動し、まずインターフェース回路を介してエンジン回転速度 N_e 、入力軸回転速度 N_{in} 、スロットル弁開度 θ_{th} を入力する処理を行なう（ステップS100）。続いて、入力した入力軸回転速度 N_{in} とスロットル弁開度 θ_{th} とから、目標スリップ回転速度 N_{SLP*} を求める処理を行なう（ステップS110）。目標スリップ回転速度 N_{SLP*} は、予め3次元のマップとして、三者の関係を記憶しておき、このマップを参照することにより求めることができる。

【0036】図7は、入力軸回転数 N_{in} とスロットル弁開度 θ_{th} とから、目標スリップ回転速度 N_{SLP*} を定める

10

20

30

40

50

13

ためのマップである。この例では、目標スリップ回転速度 N_{SLP} は、スロットル弁開度 θ_{th} と入力軸回転速度 N_{in} とから、50 rpm もしくは 100 rpm となる。こうして目標スリップ回転速度 N_{SLP} を定めた後（ステップ S110）、実際のトルクコンバータ 12 のスリップ回転速度 N_{SLP} を求める処理を行なう（ステップ S120）。実際のスリップ回転速度 N_{SLP} は、エンジン回転速度 N_e と入力軸回転速度 N_{in} との偏差として求めることができる。その後、目標スリップ回転速度 N_{SLP} と実際のスリップ回転速度 N_{SLP} との差を制御偏差量 e として求める処理を行なう（ステップ S130）。

【0037】以上の説明では、この処理ルーチンが繰り返し

$$u(k) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot u(k-i) + \sum_{i=0}^n b_i \cdot e(k-i) \quad \dots (2)$$

【0039】即ち、式（2）に示すように、次の操作量指令値 $u(k)$ を、 n 回前から前回までの操作量指令値 $u(k-i)$ に係数 a_i を掛けた値の総和および n 回前から今回までの制御偏差量 $e(k-i)$ に係数 b_i を掛けた値の総和の加算値として求めるのである。尚、係数 a_i 、 b_i の決定方法については後述する。こうして求めた操作量指令値 $u(k)$ を、ステップ S150 で、インタフェース回路を介して、リニアソレノイド弁 52 に出力した後、「NEXT」に抜けて本処理ルーチンを終了する。

【0040】以上説明した処理は、 H_{∞} 制御に基づいて設計した。 H_{∞} 制御とは、いわゆる最適レギュレータが操作量の大きさと過渡応答性能の間のトレードオフを重視しており、応答性と安定性や、応答性と耐ノイズ性など、実際の制御系で発生する多様なトレードオフには直接対応できないことから、この限界を越えるために開発された手法である。 H_{∞} 制御は、周波数領域における整形の考え方を制御系の設計手法に導入し、周波数応答のゲインの最大値である H_{∞} ノルムを評価関数として用いて具体的な設計ができるようにしたものである。 H_{∞} 制御の典型的な問題が「混合感度問題」と呼ばれるものであり、本実施例の制御系でもこの考え方に従って設計している。

【0041】図 5 のステップ S140 で用いた係数 a_i 、 b_i の決定にいたる設計の手法について説明する。以下では、本実施例に合わせて、単一入出力系での設計を行なうこととし、その枠組みをまず説明し、次に設計の手順について述べる。スリップ回転数を制御する系を、図 8 に示した閉ループ系として考える。ここで、符号 N_{SLP} は目標スリップ回転速度、 e は目標スリップ回転速度 N_{SLP} と実際のスリップ回転速度 N_{SLP} との偏差、 $C(s)$ は制御する系（以下、コントローラと呼ぶ）の伝達関数、 $G_0(s)$ は制御対象の伝達関数である。この制御系に図 9 に示すように、特性の変化が生じたとする。特性の変化は、図 25 から図 27 に示したように、摩擦材の劣化など種々の要因により生じるが、特

14

* 返し実行される際の回数（何番目の処理か）という点は特に説明しなかったが、実際の処理は、数ミリ秒のインターバルで実行されており、何回目の処理であるかを区別可能な離散的な処理になっている。電子制御装置 42 は、上述した制御偏差量 e とリニアソレノイド弁 52 の実際の駆動電流に対応した操作量指令値 u については、現在起動された処理から i 回前までの処理における値を、RAM 86 に保存している。そこで、ステップ S140 では、リニアソレノイド弁 52 の駆動電流に対応した操作量指令値 u を以下の式に従って演算する。

【0038】

【数 2】

性の変化による伝達関数の変化は、設計時の特性からの乗法的変化分として表わせる（次式（3）参照）。なお、以下の式において、 I は単位行列を示す。

【0042】

【数 3】

$$G(s) = (I + \Delta(s)) G_0(s) \quad \dots (3)$$

【0043】このような特性変化 Δ が生じた場合の安定性は、一般にナイキストの安定定理に基づくスモールゲイン定理により示される。スモールゲイン定理とは、特性変化が生じる以前の制御系（図 8）において、コントローラの伝達関数 $C(s)$ 、制御対象の伝達関数 $G_0(s)$ が、それぞれ安定な伝達関数である場合、閉ループ系全体が安定となる条件を与えるものであり、開ループ系の伝達関数を

$$L(s) = G_0(s) C(s)$$

とすると、その条件は、次式（4）となる。

【0044】

【数 4】

$$\|L(s)\|_{\infty} = \max_{\omega} |L(j\omega)| < 1 \quad \dots (4)$$

【0045】ここで、上式（4）とし 8、単一入出力系での H_{∞} ノルムの定義であり、伝達関数 $L(s)$ のゲインの最大値を意味する。この場合のナイキスト線図の一例を、図 10 として示す。ベクトル $L(j\omega)$ の軌跡が単位円の内側に入っていれば、閉ループ系は安定となる。ここで特性変化 Δ が生じた場合に拡張すると、図 9 に示した系は、図 11 に示すように等価変換することができる。この場合、スモールゲイン定理から、系を安定にするには、次式（5）を満足すれば良いことになる。

【0046】

【数 5】

$$\|\Delta(s)(I + G_0 C) \rightarrow G_0 C\|_{\infty} < 1 \quad \dots (5)$$

尚、ここで I は、単位行列である。

【0047】特性変化には種々の要因があり、系全体の特性変化は、図 12 に例示するように、周波数領域で複

雑な形になる。図12において、 $\Delta(s)$ は、複数の要因(クラス)による特性変化を重ね合わせたものとなっている。そこで、制御上の特性変化を、実際の特性変化 $\Delta(s)$ に近い高次関数により近似する。本実施例では、8次の関数 $r(s)$ を用いた。近似において、必ず $r(s)$ が実際の特性変化 $\Delta(s)$ を上回るものとしておけば、即ち、

【0048】

$$\begin{aligned} & \| r^{-1}(j\omega) \cdot \Delta(j\omega) \| \leq 1 \quad \text{for } A\omega \\ & \therefore \| r^{-1} \cdot \Delta \|_{\infty} \leq 1 \quad \dots (7a) \\ & \| A \cdot B \|_{\infty} \leq \| A \|_{\infty} \cdot \| B \|_{\infty} \quad \dots (7b) \\ & \| \Delta (1+G_0 C)^{-1} G_0 C \|_{\infty} = \| \Delta r^{-1} r (1+G_0 C)^{-1} G_0 C \|_{\infty} \\ & \leq \| r^{-1} \Delta \|_{\infty} \cdot \| r (1+G_0 C)^{-1} G_0 C \|_{\infty} \\ & \leq \| r (1+G_0 C)^{-1} G_0 C \|_{\infty} \quad \dots (7c) \end{aligned}$$

【0051】式(7c)の右边が値1以下、即ち次式(8)が成立すれば、式(5)が成り立ち、図9に示した特性変化後の系が、式(6)を満たす総ての特性変化に対して安定となる。

【0052】

【数8】

$$\| r (1+G_0 C)^{-1} G_0 C \|_{\infty} < 1 \quad \dots (8)$$

【0053】この条件式(8)は、開ループの伝達関数 $L(s) = G_0(s)C(s)$ を用いると、

$$\| r (1+L)^{-1} L \|_{\infty} < 1$$

となり、更にここで $T = (1+L)^{-1}L$ として置き換えると、次式(9)を得る。

【0054】

【数9】

$$\| r T \|_{\infty} < 1 \quad \dots (9)$$

【0055】ここで、 T は補感度関数と呼ばれるものであり、スリップ速度の目標値から実際のスリップ速度までの伝達関数を表わしている。特性変化を近似したクラス $r(s)$ が特定の周波数域で大きくなり、安定性が損なわれる時には、変動が大きくなる周波数域で補感度関数 T を下げれば、制御系の安定性は保たれる。

【0056】次に、特性変化に対して安定性を保ちつつ応答性を高めることを考える。制御系の応答特性は、図※

$$\begin{aligned} S(s) + T(s) &= \{1+L(s)\}^{-1} + L(s) \{1+L(s)\}^{-1} \\ &= 1 \quad \dots (11) \end{aligned}$$

【0060】即ち、補感度関数 T および感度関数 S のいずれか一方を小さくすると他方は大きくなるを得ない関係である。一般に、感度関数 S は低周波領域で小さくし、補感度関数 T は高周波領域で小さくすると良いとされている。このことは、特性変化による安定条件を必要以上に見積もれば、即ち補感度関数 $T(s)$ を低周波領域まで必要以上に下げれば、応答性を規定する感度関数 $S(s)$ は高周波領域まで下げることができなくなることを意味する。逆に特性変化を過小に見積もった場合

*【数6】

$$\| r^{-1}(s) \cdot \Delta(s) \|_{\infty} \leq 1 \quad \dots (6)$$

【0049】としておけば、 $|r(s)|$ が、この制御系において許される特性変化の幅を与える。この式(6)を、次式(7a)のように書き換え、更に式(7b)の係数を用いると式(7c)を得る。

【0050】

*【数7】

※8に示した系では、目標スリップ回転速度 N_{SLP*} が変化した場合の制御偏差量 e の追従の速さとして考えることができ、目標スリップ回転速度 N_{SLP*} から制御偏差量 e までの伝達特性として表わすことができる。他方、スリップ速度に直接加わる外乱 d に対する定値性は、外乱 d から出力 y (ここでは実際のスリップ回転速度 N_{SLP})までの伝達特性として表わされる。これら二つの特性は、共に次式(10)で表わされ、感度関数 S と呼ばれる。

【0057】

【数10】

$$S(s) = \{1+L(s)\}^{-1} \quad \dots (10)$$

【0058】この感度関数 S は、その値が小さければ目標値に対する制御偏差量 e および外乱に対する出力 y の変動が小さくなり、制御系はその応答特性に優れると言える。上記の特性から、補感度関数 T と感度関数 S とを共に小さくし、系の特性変化に対して、安定かつ良好な応答特性を実現することが望ましい。ところが補感度関数 T と感度関数 S との間には、次式(11)の関係がある。

【0059】

【数11】

には、感度関数 $S(s)$ を高周波領域まで下げることにより設計点における応答性は向上させ得るが、特性の変化により安定性が損なわれることになる。

【0061】従って、特性変化を図12に示すように、高次の関数により近似し、式(9)で示したように、補感度関数 $T(s)$ を必要な周波数領域で小さくすると共に、感度関数 $S(s)$ を式(11)で示した相補性の条件を満足する範囲で小さくすることが必要とされる。なお、同図には $r(s)$ を、一般的に用いられる2次関数

で近似した場合についても示したが、2次関数を用いた近似では、高周波領域での△をカバーするため、低周波領域から立ち上がるものとせねばならず、高次の関数による近似（実施例では8次）と較べて、図13に示したように、補感度関数 $T(s)$ に明らかな影響を生じる。図13において、 $T(s)$ は、高次の関数で $r(s)$ を近似した場合であり、 $T'(s)$ は、2次の関数で近似した場合を各々示している。図示するように、高次の関数を用いた場合には、 $T(s)$ は、必要とされる高周波領域から下がっており、 $T'(s)$ との差分だけ、感度関数を下げることが可能となっている。従って、高次の関数で近似することにより応答性が向上させ得ることが分かる。

【0062】また、従来技術として通常用いられるPID制御は、その周波数特性が緩やかなものであり、特性変化を、等価的には図12に示した低次の関数で近似していると言える。従って、式(11)の相補性の条件から感度関数 $S(s)$ を、高周波領域で下げることができない。この結果、制御の応答性を、上げることはできず、スリップ制御の所定の目的を達成することができない。

【0063】翻って、本発明の実施例であるスリップ制御装置では、補感度関数 $T(s)$ と感度関数 $S(s)$ との相補性の条件の下で、上述した特性変化による安定性を保ちつつ応答性を上げるというアプローチをとり、これを実現する高次の周波数特性を有するコントローラを、少なくとも操作量と制御偏差の時系列データに基づいて実現することで、スリップ制御の所定の目的を実現している。

【0064】以上説明した一般条件を踏まえつつ、本実施例における制御対象であるトルクコンバータ12のロックアップクラッチ32の特性に合わせて、コントローラ $C(s)$ を設計することになる。この点を具体的に説明する。

【0065】制御対象の特性を調べた一例を、図14および図15に示す。図14は、車速が45 Km/hの場合のロックアップクラッチ32の操作量（ソレノイド電*

*流）からスリップ回転速度 N_{SLP} までの周波数特性を、ゲインとの関係において示すボード線図、図15は、同じく位相との関係において示す図である。ロックアップクラッチ32の作動条件として、同一車速で高負荷に変化した場合を取り上げた。図示するように、本実施例の制御対象は、設計時のモデルの特性（実線）に対して、破線の特性変化を示した。ゲイン、位相とも、かなり変動していることが分かる。この制御対象にフィードバック制御をかけず、指令値をステップ変化させた場合の時間応答を図16に示す。図14、図15に示す特性変動が生じた場合、負荷の変化に対して立ち上がりの特性が鋭くなっていることが分かる。

【0066】本実施例における制御系の特性変化の全体像としては、図26から図28に示したように、高周波領域において大きな特性変動の発生が見込まれ、特性変化のクラス $r(s)$ は図12に示したように、高次の関数として表わすことが必要なものである。

【0067】そこで、実施例では、特性変動を8次の関数で近似し、式(12)の評価関数を用い、特性変動の大きな高周波領域で補感度関数 T を小さくし、式(11)で示された相補性の条件を満足する範囲で、感度関数 S を小さく設計する。なお、以降の説明では、特性変化のクラス $r(s)$ を重み付け関数 $W2$ とする。重み付け関数 $W1$ 、 $W2$ を用いれば、特性変化時の安定条件である補感度関数 T の拘束条件は、

$$\|W2(s)T(s)\|_{\infty} < 1$$

であり、他方、応答性を示す感度関数 S における拘束条件は、重み付け関数 $W1(s)$ を用いて、

$$\|W1(s)S(s)\|_{\infty} < 1$$

である。これらの重み付け関数 $W1$ 、 $W2$ の設計例を図18、19に示す。図18に示したように、重み付け関数 $W1$ と $W2$ とは、相補性の関係となる。ノルムの性質より次式(12a)が成り立つので、式(12b)が成り立てば、上記の拘束条件も成立する。

【0068】

【数12】

$$\max \{ \|x\|_{\infty}, \|y\|_{\infty} \} \leq \left\| \begin{array}{c} x \\ y \end{array} \right\|_{\infty} \quad \dots (12a)$$

$$\left\| \begin{array}{c} W1(s)S(s) \\ W2(s)T(s) \end{array} \right\|_{\infty} < 1 \quad \dots (12b)$$

【0069】そこで、フィードバック制御を行なった場合の外部入力 w から制御量 z までの伝達関数を次式(13)とおけば、制御性能とロバスト性の要求を満たすコントローラ $C(s)$ を設計することができる。

【0070】

【数13】

$$T_{ZW} = \begin{bmatrix} W1(s)S(s) \\ W2(s)T(s) \end{bmatrix} \quad \dots (13)$$

【0071】以上議論してきた重み付け関数 $W1$ 、 $W2$ を考慮しつつ、この制御系のブロック線図を描いたのが、図17である。ここで、 w は、スリップ回転速度の目標値 N_{SLP} や外乱などの外部入力を示し、 $z(z1,$

z2)は制御しようとする物理量(制御偏差に周波数領域の重み付け関数W1を掛けた量、およびスリップ回転速度に周波数領域の重み付け関数W2を掛けた量)、yは観測出力でありセンサにより検出されたスリップ回転速度NSLP、uは操作量(リニアソレノイド弁52の電流を決定するデューティ比)である。また、G0(s)*

$$dx/dt = A \cdot x + B1 \cdot w + B2 \cdot u$$

$$z = C1 \cdot x + D11 \cdot w + D12 \cdot u \quad \dots (14)$$

$$y = C2 \cdot x + D21 \cdot w + D22 \cdot u$$

【0073】また、これを伝達関数として表示すると、次式(15)となる。

$$\begin{bmatrix} z(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = P(s) \cdot \begin{bmatrix} w(s) \\ u(s) \end{bmatrix} \quad \dots (15)$$

【0075】ここで、P(s)の伝達関数行列は、プラントG0(s)に重み付け関数W1、W2を含めた拡大プラントとして、次式(16)となる。

【0076】

【数16】

$$P(s) = \begin{bmatrix} W1 & -W1 & G0 \\ 0 & W2 & G0 \\ I & -G0 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots (16)$$

【0077】以上の説明をまとめると、図17の制御Kにおいて、u(s)=K(s)・y(s)のフィードバック制御を行なったとき、外部入力wから制御量zまでの伝達関数Twについて、閉ループの系の安定性を保証し、かつ||Tw||∞<1となるコントローラK(s)を求めることがH∞の制御問題となる。

【0078】次に具体的な設計手順について、図20に従い、説明する。図20は、以上の理論的な裏付けの元で、実際にクラッチのスリップ制御装置を設計する際の手順を示したものである。

【0079】図示するように、設計の第1ステップとして、制御対象の特性を数式モデルとして把握する作業を行なう(ステップS200ないし210)。数式モデルは、制御対象の物理的(力学的)考察に基づいて導出するのが、理想的であるが、本実施例で取り上げた摩擦式★

$$y(k) = \sum_{i=1}^n a_{mi} \cdot y(k-i) + \sum_{i=0}^n b_{mi} \cdot u(k-i-k_d) \quad \dots (17)$$

【0083】この式(17)において、uは操作量指令値を、yはスリップ回転速度NSLPを、kは現時刻を表すパラメータを、nは次数を、ami、bmiはモデルパラメータを、Kdは操作量指令値uの変化が出力yに現われるまでのむだ時間を、各々示している。

【0084】次に、システム同定により求められた多数のモデルから設計の中心となる設計モデルを決定し(ステップS220)、更に設計モデルからの特性変化Δを求める処理を行なう(ステップS230)。設計モデル自体は、通常中心となる作動条件から選ばれることが多

*は制御対象を、P(s)はその拡大プラントを、K(s)はコントローラを示す。この制御系を、状態変数xを用いて状態方程式として記述すると、次式(14)となる。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 7 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \text{数} & 1 & 4 \end{bmatrix}$$

※【0074】

※【数15】

★クラッチなどでは摩擦係合部のダイナミクス(動的な振る舞い)を、物理的に記述することが困難なため、実験的な同定手法を用いた。制御対象であるクラッチの種類によっては、あるいは適切な状態量の導入によっては、クラッチのダイナミクスを物理的な考察から数式モデルとして把握することも可能である。

【0080】本実施例では、まず同定試験を行なった(ステップS200)。この同定試験は、ランダムな信号発生器により操作量指令値に相当する信号を発生させ、この信号に基づいて、リニアソレノイド弁52に対応する駆動電流Isolを流し、この時のエンジン回転速度Neと入力軸回転速度Ninとによりスリップ回転速度NSLPを求め、これを図示しないデータ蓄積装置に蓄積しておく。この試験は、実際の車両での中心的な作動条件ならびに特性変化を与える各種クラスの走行条件下で実施する。

【0081】こうして蓄えられた多数のデータを用いて、最小二乗法を用い、次式(17)により出力量であるスリップ回転数NSLPが記述可能なモデルパラメータami、bmiを求める(ステップS210)。

【0082】

【数17】

いが、特性変化を小さくする作動条件が中心となる作動条件からずれた場合には、特性変化を小さくする作動条件を設計モデルG0として選択することも有り得る。また、種々の特性変化は設計点のG0が決定されれば、式(3)の定義に基づき、特性変化の変動モデルGより求められる。図12に示した特性変化Δは、複数の特性変化を重ね合わせたものである。図14から図16は、以上の過程を経て求められた後のモデルの所定の条件下での応答を図示したものである。

【0085】次に、上記ステップS230で求められた

特性変化 Δ を基に、 H_{∞} コントローラの鍵となる重み付け関数 W_1 、 W_2 を設定する処理を行なう（ステップS240）。ここで、特に重要となるのは補感度関数に相当する重み付け関数 W_2 の設定である。重み付け関数 W_2 は、図19に示したように、負荷、タービン回転速度等による特性変化を包括するように（図示上では種々の特性変化の包絡線に近似の曲線として）、8次の関数により近似したものである。他方、重み付け関数 W_1 は、図18に示したように、比較的単純な関数を用いれば良い。なお、重み付け関数 W_1 は、設計仕様を満足するように、設計サイクルの中で通常何回か修正される。

【0086】重み付け関数 W_1 、 W_2 を設定した後、実際に使用するコントローラを求めるために、式(16)の拡大プラントを作成し（ステップS250）、更に所定の解法に従って、コントローラを求める処理を行なう（ステップS260）。コントローラを求める具体的な解法は省略するが、Doyle, Gloverらによって提案されたDGKF法が一般的である。この解法は、J. Doyle, K. Glover et.al "State Space solutions to standard H_2 and H_{∞} control problems" IEEE Trans. Automat. Contr., AC-34, no.8, p.831-847 に詳しい。

【0087】こうしてコントローラを求めた後、コントローラが式(12b)を満足しているかを判断する（ス*

$$\begin{aligned} y(k) = & 1.63 \cdot y(k-1) - 1.04 \cdot y(k-2) + 2.25 \cdot y(k-3) \\ & + 4.35e^{-1} \cdot y(k-4) - 3.17e^{-1} \cdot y(k-5) \\ & + 5.15e^{-2} \cdot u(k-4) - 1.96e^{-3} \cdot u(k-5) \\ & + 7.40e^{-3} \cdot u(k-6) + 6.50e^{-2} \cdot u(k-7) \quad \dots (18) \end{aligned}$$

【0090】また、式(19)は、特性変動点における同定モデルの一例を示したものである。特性変動モデルにおけるデューティ指令値 $u(k)$ の添え字が設計モデルと異なっているのは、デューティ指令値 $u(k)$ の変※

$$\begin{aligned} y(k) = & 1.69 \cdot y(k-1) - 7.02e^{-1} \cdot y(k-2) \\ & + 3.67e^{-1} \cdot y(k-3) - 8.27e^{-1} \cdot y(k-4) \\ & + 4.20e^{-1} \cdot y(k-5) + 2.17e^{-2} \cdot u(k-2) \\ & + 4.87e^{-2} \cdot u(k-3) + 4.61e^{-2} \cdot u(k-4) \\ & + 7.69e^{-2} \cdot u(k-5) - 3.68e^{-2} \cdot u(k-6) \quad \dots (19) \end{aligned}$$

【0092】このモデルを用いて、制御対象となっているシステムの動作条件を変えて、特性を同定する。即ち、システムの同定を行なう項目として、スリップ速度、エンジン負荷、タービン回転速度、作動油の温度、経時変化といったものを取り、これらを実際の動作範囲内で様々に変更して、制御対象の特性を調べるのである。各項目のテスト範囲を図22に示す。なお、項目毎の組み合わせによっては、スリップ制御領域からはずれる場合があり、そうした組み合わせについては同定を行っていない。

【0093】こうした同定を行なって制御対象の補感度

* テップS270)。一般的には、設計の初期段階では感度関数 $S(s)$ を規定する重み付け関数 W_1 の条件を緩く設定してコントローラを一旦求め、式(12b)の条件を見ながら感度関数が小さくなるように、徐々に重み付け関数 W_1 の設定を変えてゆく。この処理を繰り返し、式(12b)がぎりぎり満たされるまで、感度関数を設定し得たと判断した時点で、基本設計の完了とする。

【0088】設計点における性能を十分に一応満足するコントローラが得られたところで、コントローラを離散系に変換し、実際に使用するコントローラを得る（ステップS275）。次に、補感度関数 T のピークについて検討し、コントローラを補正する。この補正の処理を図21に示す。まず、制御対象であるクラッチの動作条件を変えて、システムの同定を行なう（ステップS280）。システムの同定は、スリップ速度を $y(k)$ 、ソレノイドに対するデューティ指令値を $u(k)$ とし、サンプリング時間を約40msecとして次の式(18)式(19)に従って行なった。式(18)は、設計モデルにおける同定モデルを離散時間モデルとして数式で表現したものである。

【0089】

【数18】

30※ 動が出力に現われるまでの無駄時間が設計モデルとは異なっているからである。

【0091】

【数19】

40 関数 T の特性を調べ、補感度関数 T にピークがあるか否かの判断を行なう。同定により得られた補感度関数 T の一例を、図2に、ゲインにより示した。図2において、実線Jは、設計点での補感度関数を示す。ほとんどの動作条件では、補感度関数 T は、実線J同様、周波数が高くなるにつれてゲインが小さくなり、位相が遅れてゆく特性を示したが、いくつかの動作点では、補感度関数 T にピークがみられた。比較的低い周波数領域にピークが存在する補感度関数 T の一例を、図2に一点鎖線Dとして示した。また、比較的高い周波数領域にピークが存在する例を、破線Bとして示した。

【0094】補感度関数Tについて考察する。補感度関数Tは、ロバスト安定性を示す指標としてだけでなく、過渡応答時の特性を示す指標ともなっている。即ち、クラッチのスリップ制御を行なう制御系を示す図8に対応して、一般的な制御系を示す図23に即して説明すると、補感度関数Tは、目標rから出力yまでの伝達関数に相当しており、閉ループ伝達関数となっている。これは、目標rから出力yまでの伝達関数Tによって規定される過渡特性は、補感度関数Tを評価することにより設計できることを意味している。実際、図24に示すように、補感度関数Tにピークが存在する場合の過渡応答を調べてみると、図25に示すように、目標値がステップ関数で変化する場合、その過渡応答特性には、顕著なオーバーシュートが見られた。

【0095】様々な運転状態で運転してシステムの同定を行なった結果、図2に示したように、補感度関数Tに複数のピークが見いだされた場合には（図21ステップS282）、このピーク周波数近傍で重み付け関数W2を増分する補正を行なう（ステップS284）。増分補正は、具体的には、図1に示すように、元々設計した重み付け関数Worgに、補正分K2を加えることにより行なう。この補正分K2は、図26に示すように、補感度関数Tのピークの周波数を中心周波数とし、所定の広がりを持ち、中心の高さH（dB）の山形の関数Q1やQ2として規定される。この補正分K2は、実施例では、次式（20）により設計した。

【0096】

【数20】

$$K2 = \frac{S^2 + (a/c)S + d^2}{S^2 + (b/c)S + d^2} \quad \dots (20)$$

【0097】補正後の重み付け関数W2Sは、 $W2S = Worg \times K2$

として与えられる（図1は、縦軸が対数目盛なので、図示では両者は加算したものとなる）。上記式（20）は、係数a、b、cのうち、cを大きくすると補正分K2の形状では、山形の凸部の幅が狭くなり（図26曲線Q2側となる）、a/bを大きくすると、山形の凸部の高さ（図1高さH）が高くなり、dにより補正分のピークが存在する周波数が調整できるという関係が知られているので、これらの係数を調整する事により、補正分K2の形状を種々可変することは容易である。この補正分K2を加えた後の重み付け関数の形状は、図1に線分W2Sで示した形状となる。

【0098】重み付け関数W2をこうして増分補正した後、制御を実行し、過渡応答の特性が良好なものとなっているかを検討する（ステップS286）。過渡応答の特性が良好でなければ、再度ステップS284に戻って重み付け関数W2の増分補正を調整し、過渡特性が良好なものとなるまで、繰り返す。増分補正の調整は、上記

式（20）の係数c、a/bを調整する事により行なう。過渡特性が良好なものとなった時点で、処理を終了し、図20、21に示した設計の処理を終了する。以上説明した処理のうち、ステップS210ないしS286の処理は、制御系のCADである「MATLAB」を用いて行なうことができる。

【0099】上述した設計では、様々な動作条件で制御を行なった結果、補感度関数Tにピークが見いだされた場合、図1に示したように、補感度関数Tにピークが存在する周波数領域に対応した範囲において、重み付け関数W2を増分補正している。これは、補感度関数Tのピークに対応した周波数領域でのみ重み付け関数W2を左側に移動したことに対応している。この補正を、図27に示したもう一つの修正方法と対比して説明する。図27は、重み付け関数W2全体を、図示左側に移動する補正を示すグラフである。実際の特性変動（破線B2）に対して、重み付け関数を実線J2のように設計するが、補感度関数Tがある周波数領域でピークを有し、過渡応答特性にオーバーシュートが見られた場合、図27に一点鎖線D2で示すように、重み付け関数全体をシフトすることによっても過渡応答の特性を改善することができる。実施例では、設計点での設計により得られた重み付け関数Worg（実線J2）は次式（21）として表わせるが、この関数において、係数pを小さな値（例えば2→1）に変更すると、関数の形状は、周波数領域で低周波側に移動したものとなる。

【0100】

【数21】

$$W2 = \frac{\{(1/p)s + 1\}^2}{1.2 \{(1/q)s + 1\}^2} \quad \dots (21)$$

【0101】実施例で説明した補正（図1に示す補正）を行なった場合、特定の周波数にピークを有する補感度関数T（例えば図28に実線J3Sで示すもの）は、同図に破線MS2で示すように、このピークのみが抑制された状態となる。これに対して、図27として示したように、重み付け関数全体を周波数の低い側に移動した補正を行なった場合には、図28に破線MS1として示したように、ピークが存在する周波数より低い周波数から、補感度関数Tが全体として低周波側に移動した状態となってしまう。このことは、補感度関数Tを、感度関数Sとの相補性を満足することを前提として、できるだけ高周波側まで高くしたいという応答性改善のための要請に反するものとなっていることを意味している。

【0102】実際、過渡応答を調べてみると、図29に示したように、目標スリップ回転数Nslp*が200回転から300回転まで変化したとき、本実施例による制御は極めて良好な応答性を示した。補感度関数Tにピークが存在する場合の過渡応答が実線J3として示したように、オーバーシュートを伴う振動が見られる（この場合

でも制御の安定性、即ち必ず収束することは保証されているが)。これに対して、本実施例により所定の周波数領域のみ重み付け関数W2を増分補正することで補感度関数Tのピークを低減したもので、図示破線M2のように、きわめて良好な収束性を示しつつ、かつ応答性をさほど損なうことなく、スリップ回転速度が制御されているのである。他方、図27に示したように、重み付け関数W2を全体に低周波側に移動した補正を行なったものでは、図29に実線M1として示したように、過渡応答時の振動は見られないものの、応答速度に著しい低下が観測された。

【0103】以上説明した本実施例に詳しく示したように、補感度関数Tが所定の動作条件の下で特定の周波数領域にピークを有する場合、この周波数領域において、重み付け関数W2を増分補正することは、過渡応答時の収束性を改善し、かつ応答速度の低下は最小限にとどめるといった優れた効果を奏する。

【0104】なお、以上説明したH ∞ コントローラ自体の制御特性は、従来のPID制御に比べると極めて良好な制御特性を示すものとなっている。従来のPID制御によるコントローラとの比較のために、実施例で設計したH ∞ コントローラの制御特性を、図30に実線で示す。比較のために、設計時点の特性に合わせて最適調整されたPIDコントローラの特性を破線で示した。

【0105】また、目標スリップ回転速度N_{SLP*}をステップ変化させた場合の追従特性を図31から図33に示す。図31は、設計時点でのスリップ回転速度N_{SLP}の変化を示し、図32は、代表的な変化点における性能(観測された実際のスリップ回転速度N_{SLP})を示す。H ∞ コントローラでは、滑らかに追従しているのに対して、PIDコントローラでは振動的な特性となっている。更に、図33は、制御系の特性が、ロックアップクラッチ32の摩擦材や作動油の劣化などにより、変化点において定常ゲインが2.5倍に変化した場合の応答の様子を示す。図示するように、H ∞ コントローラでは、*

$$\Delta u(k) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \Delta u(k-i) + \sum_{i=1}^n b_i \cdot \Delta e(k-i) \quad \dots (22)$$

【0110】その後、この増加分 Δu を前回の操作量指令値 $u(k-1)$ に加え、今回の操作量指令値 $u(k)$ を求める処理を行ない(ステップS360)、この操作量指令値 $u(k)$ を出力する(ステップS370)。

【0111】以上説明した実施例でも、コントローラの設計時に補感度関数Tを評価し、動作条件によって補感度関数Tにピークが見いだされた場合には、対応する周波数領域において重み付け関数W2を増分補正しておく。この実施例によれば、第1実施例と同様の効果を奏する上、更に操作量指令値 $u(k)$ の増加分を計算するので、演算ステップS350における結果が小さな値で済み、演算のためのメモリを小さくできるという効果がある。

* 多少振動が見られるものの十分な安定性が確保されているのに対し、PID制御では、発散的となっている。

【0106】以上説明した本実施例のスリップ制御装置によれば、ロックアップクラッチ32の摩擦材や作動油の劣化などに起因する制御系の特性変化に対しても、十分な追従性(応答性)と安定性を確保することができるという優れた効果を奏する。また、本実施例のスリップ制御装置の製造方法によれば、こうした制御性能を、台合わせ込みやカットアンドエラーを繰り返すことなく達成することができるので、設計工数や調整工数を短縮し、開発の手間を格段に低減することができる。更に、実際のクラッチのスリップ制御では、その運転条件は多岐に亘るが、特定の運転条件で制御の収束性が不十分な場合には、その補感度関数Tを評価し、補感度関数Tにピークが見られる周波数領域についてのみ、重み付け関数W2を増分補正することにより、応答速度の犠牲を最小限度にとどめながら、過渡応答における収束性を格段に改善することができるという優れた効果を奏する。

【0107】なお、以上説明した実施例では、操作量 $u(k)$ を入出力データに基づいて毎回計算したが(図5ステップS140)、図34に示すように、増分を用いて逐次計算するものとしても差し支えない。図34に示したフローチャートでは、ステップS300からステップS330の処理は、図5に示した処理と同一である。この実施例では、制御偏差量 e を算出した後、偏差量 e の差分 Δe を算出する(ステップS340)。即ち、今回の制御偏差量 $e(k)$ と前回の制御偏差量 $e(k-1)$ との偏差 Δe を算出するのである。

【0108】その後、操作量指令値(リニアソレノイド弁52の駆動電流)を直接求めるのではなく、その増加量 $\Delta u(k)$ を求める処理を行なう(ステップS350)。即ち、次式(22)の演算を行ない、操作量指令値 $u(k)$ の増加量 Δu を求める。

【0109】

【数22】

【0112】次に本発明の第3の実施例について説明する。第3の実施例は、上記二つの実施例が、制御目標値である目標スリップ速度に対する応答性制御対象の特性の変化に対する安定性を向上することを制御の目的としたのに対して、この他に制御対象に加わる外乱に対するスリップ回転速度の変動を抑制することも目的としたものである。スロットルバルブの急開閉によるスリップ回転速度の変動を抑制するために、第3実施例では、トルク外乱から制御出力(スリップ回転速度)までの周波数特性を制御の目標に付け加えて設計した。

【0113】この場合の制御系の構成を図35に示す。この図は、上述した第1、第2実施例(混合感度問題)による構成図である図17に対応したものであり、W1

、W2は、第1、第2実施例と同様、重み付け関数であり、他方 γ_1 、 γ_2 はスカラー重みである。ここで、応答性を規定する感度関数Sはトルク外乱d1から評価したい制御量z1までの伝達関数として表わすことができ、安定性を規定する補感度関数Tはトルク外乱d2から評価したい制御量z2までの伝達関数となる。また、トルク外乱から出力までの伝達関数は、トルク外乱が便*

$$\begin{bmatrix} z1 \\ z2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_1 W1 S & \gamma_1 \gamma_2 K S \\ W1 W2 G S & \gamma_2 W2 T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d1 \\ d2 \end{bmatrix} \quad \dots (23)$$

【0115】また、コントローラを求める際の評価指標として、第1実施例の式(12b)に対応するものとして、次式(24)が導入される。

$$\left\| \begin{bmatrix} \gamma_1 W1 S & \gamma_1 \gamma_2 K S \\ W1 W2 G S & \gamma_2 W2 T \end{bmatrix} \right\|_{\infty} < 1 \quad \dots (24)$$

【0117】式(23)において、考慮すべき項目としては、 $\gamma_1 W1 S$ 、 $\gamma_1 \gamma_2 K S$ 、 $W1 W2 G S$ 、 $\gamma_2 W2 T$ であるが、式(23)を解くに当たって、 $\gamma_1 \gamma_2 K S$ が必要となるため、 $\gamma_1 \gamma_2 K S$ の項を入れてある。上記構成をとることにより、トルク外乱d1に対するスリップ回転速度の変動を積極的に考慮することができ、トルク外乱に対する抑制能力を向上させることができる。また、この実施例でも、補感度関数Tを評価して、重み付け関数W2を増分補正しておくことは、上述した他の実施例と同様である。なお、図35の構成では、トルク外乱は、便宜上入力側に入るとしているが、これを正確にモデル化して設計に反映するものとしても良い。

【0118】以上本発明の実施例について説明したが、本発明のスリップ制御装置はこうした実施例に何限定されるものではなく、例えば従来のPID制御と高次のローパスフィルタの組み合わせにより図5ステップS140の演算を同様の処理を行なう構成、特性変動を3ないし7次の関数によりあるいは9次以上の関数により近似した構成、ステップS140の演算を行なう専用の乗算器を設けた構成など、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において、種々なる態様で実施し得ることは勿論である。

【0119】

【発明の効果】以上説明したように本発明の制御装置では、制御対象の特性変化に対して、十分な追従性(応答性)と安定性を確保する事ができるばかりか、特定の動作条件の下で過渡応答に振動が見られるような場合(この場合でも制御の安定性、即ち必ず収束することは保証されているが)、補感度関数を評価することにより、補感度関数のピークに対応した領域において重み付け関数を増分補正することにより、過渡応答時の収束性を一層改善することができるという優れた効果を奏する。

* 宜上制御対象Gの入力側に加わるとして、トルク外乱d1から評価したい制御量z2までの伝達で表わせる。トルク外乱d1、d2から評価したい制御量z1、z2までの伝達関数は、次式(23)となる。

【0114】

【数23】

* 【0116】

【数24】

※

20

30

40

50

【0120】また、本発明の制御装置の製造方法によれば、こうした制御性能を、合わせ込みやカットアンドエラーを繰り返すことなく達成することができ、しかも様々な動作条件において生じる可能性のある過渡応答時の振動という問題を、補感度関数を評価するだけで、定式的に解消することができるという極めて優れた効果を奏する。従来のコントローラでは、動作条件が異なる複数の動作点でこうした過渡応答時の問題が生じると、合わせ込みは経験者の勘や試行錯誤程度では対処することができず、ほとんど対応することができなかった。本発明の制御装置の製造方法は、こうした問題を定式的に解決できるので、設計工数や調整工数を短縮し、開発の手間を格段に低減することができる。

【0121】本発明のクラッチのスリップ制御装置では、滑り制御を行なうクラッチの特性変化に対して、十分な追従性(応答性)と安定性を確保することができるばかりか、特定の動作条件の下でスリップ回転数制御の過渡応答に振動が見られるような場合、補感度関数を評価することにより、補感度関数のピークに対応した領域において重み付け関数を増分補正することにより、過渡応答時の収束性を一層改善することができるという優れた効果を奏する。従って、これを内燃機関の回転を自動変速機に伝達するクラッチのスリップ制御に適用すれば、内燃機関からのトルク変動分を遮断しかつトルクの伝達効率を高めることが、定常状態はもとより、過渡運転状態、更には経年変化により特性が変化した状態においても達成することができる。この結果、燃費向上といった効果も得られる。こうした高い応答性と安定性との両立は、従来のスリップ制御装置が安定性を維持した上で特性変化に対処するために、制御系の応答性を緩やかなものとし、定常的な運転状態が長く続いた状態下でのみ、スリップ状態を目標状態にできたに過ぎないものと較べて、際だっている。また、様々な運転条件が考えられるクラッチのスリップ制御において、これらの運転条

件の下での過渡応答を一層改善することができるという効果も得られる。

【0122】また、本発明のスリップ制御装置の製造方法によれば、こうした制御性能を、合わせ込みやカットアンドエラーを繰り返すことなく達成することができ、しかも様々な動作条件において生じる可能性のある過渡応答時の振動という問題を、補感度関数を評価するだけで、定式的に解消することができるので、設計工数や調整工数を短縮し、開発の手間を格段に低減することができるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例における重み付け関数 W_2 の増分補正の様子を示すグラフである。

【図2】補感度関数 T に見られるピークを示すグラフである。

【図3】本発明の一実施例であるロックアップクラッチのスリップ制御装置を組み込んだ車両用動力伝達装置の概略構成図である。

【図4】リニアソレノイド弁52の駆動電流と油圧 P_{cl} との関係を例示するグラフである。

【図5】本実施例におけるスリップ制御処理ルーチンを示すフローチャートである。

【図6】実施例において出力軸回転速度 N_{out} とスロットル弁 θ_{th} とからスリップ制御領域を定める説明図である。

【図7】同じくスリップ制御領域における目標スリップ回転速度 N_{SLP*} を定めるグラフである。

【図8】特性変化以前の制御系を伝達関数により示すブロック線図である。

【図9】特性変化後の制御系を伝達関数により示すブロック線図である。

【図10】制御系のナイキスト線図である。

【図11】図9に示した制御系を等価変換したモデルを示すブロック線図である。

【図12】 $\text{クラス}r(s)$ を用いて周波数領域に対する特性変化の様子を示すグラフである。

【図13】同じく補感度関数 $T(s)$ の設定を周波数領域に対して示すグラフである。

【図14】実施例としてのロックアップクラッチ32の特性を周波数領域に対するゲインの関係により示したグラフである。

【図15】同じく実施例としてのロックアップクラッチ32の特性を周波数領域に対する位相の関係により示したグラフである。

【図16】実施例のロックアップクラッチ32における制御の一例を設計時のモデルと特性変動後のモデルにより示したグラフである。

【図17】拡大された制御系のモデルを示すブロック線図である。

【図18】重み付け関数 W^{-1} の設定の一例を示すグラフ

である。

【図19】負荷の相違による制御系の特性変動とこれに対応して設定される重み付け関数 W^{-1} の一例を示すグラフである。

【図20】本実施例のスリップ制御装置を設計する具体的手順の前半を示す工程図である。

【図21】本実施例のスリップ制御装置を設計する具体的手順の後半を示す工程図である。

【図22】システムの同定を行なった動作条件の範囲を示す説明図である。

【図23】補感度関数 T が伝達関数に相当することを示す説明図である。

【図24】補感度関数 T のピークの一例を示すグラフである。

【図25】補感度関数 T にピークが存在する場合の過渡応答の一例を示すグラフである。

【図26】重み付け関数 W_2 に加える増分補正の形状を示すグラフである。

【図27】重み付け関数の他の補正例を示すグラフである。

【図28】補感度関数 T の補正の様子を示すグラフである。

【図29】実施例による過渡応答特性を示すグラフである。

【図30】本実施例の制御装置により制御特性を従来のPIDコントローラとの比較において示すグラフである。

【図31】設計時点でのスリップ回転速度 N_{SLP} の変化の様子を示すグラフである。

【図32】目標スリップ回転速度 N_{SLP*} の変化に対する実際のスリップ回転速度の N_{SLP} の制御特性を従来のPIDコントローラにより制御との比較において示すグラフである。

【図33】制御系の特性がゲインで2.5倍変動した場合の制御の一例を、従来のPIDコントローラによる制御との比較において示すグラフである。

【図34】他の実施例におけるスリップ制御処理ルーチンを示すフローチャートである。

【図35】第3実施例における制御系の構成図である。

【図36】ロックアップクラッチにおけるスリップ制御を行なう系の特性変化の一例を示すグラフである。

【図37】同じく劣化時の特性変化の様子を示すグラフである。

【図38】同じく劣化時の特性変化の他の例を示すグラフである。

【符号の説明】

10…エンジン

12…ロックアップクラッチ付トルクコンバータ

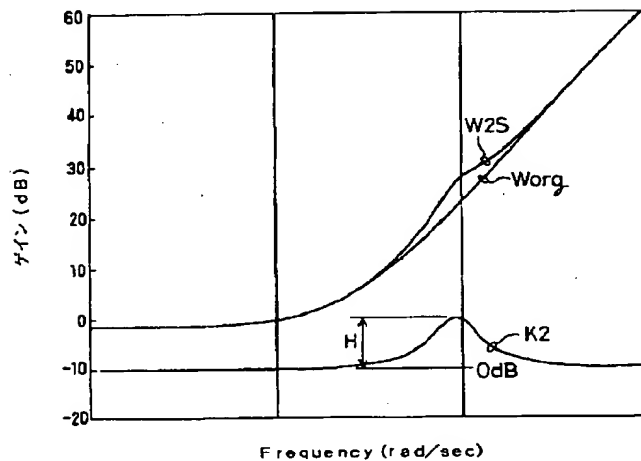
14…有段式自動変速機

16…クランク軸

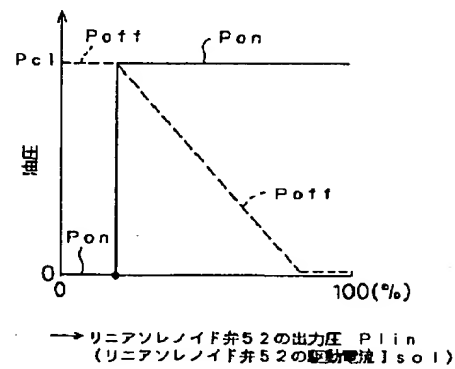
18…ポンプ翼車
 20…入力軸
 22…タービン翼車
 24…一方向クラッチ
 26…ハウジング
 28…ステータ翼車
 30…ダンバ
 32…ロックアップクラッチ
 33…解放側油室
 34…出力軸
 35…係合側油室
 42…電子制御装置
 44…変速制御用油圧制御回路
 46…係合制御用油圧制御回路
 48…第1電磁弁
 50…第2電磁弁
 52…リニアソレノイド弁

* 54…切換弁
 56…スリップ制御弁
 58…スプリング
 60…第1ポート
 62…第2ポート
 64…第3ポート
 66…第4ポート
 70…スプリング
 82…CPU
 84…ROM
 86…RAM
 88…スロットルセンサ
 90…エンジン回転速度センサ
 92…入力軸回転センサ
 94…出力軸回転センサ
 96…シフトレバー
 * 98…操作位置センサ

【図1】

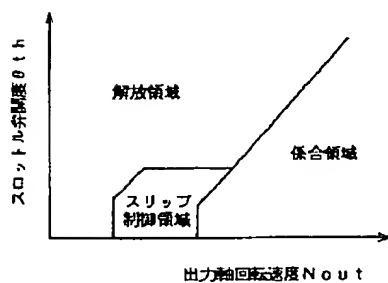


【図4】

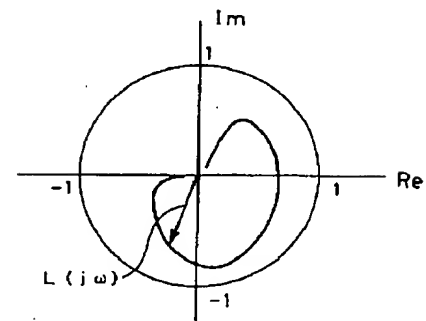
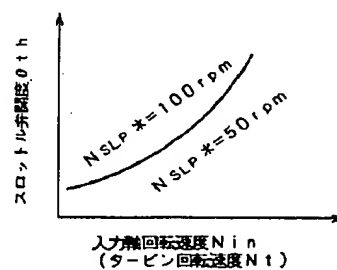


【図10】

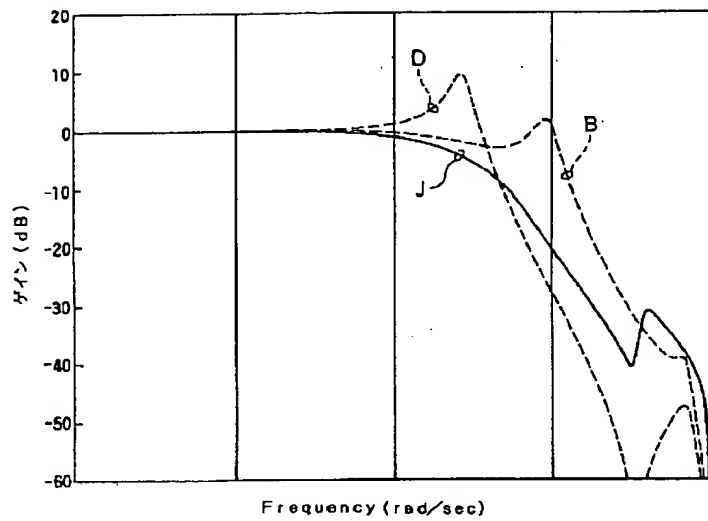
【図6】



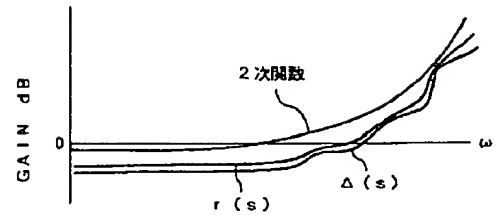
【図7】



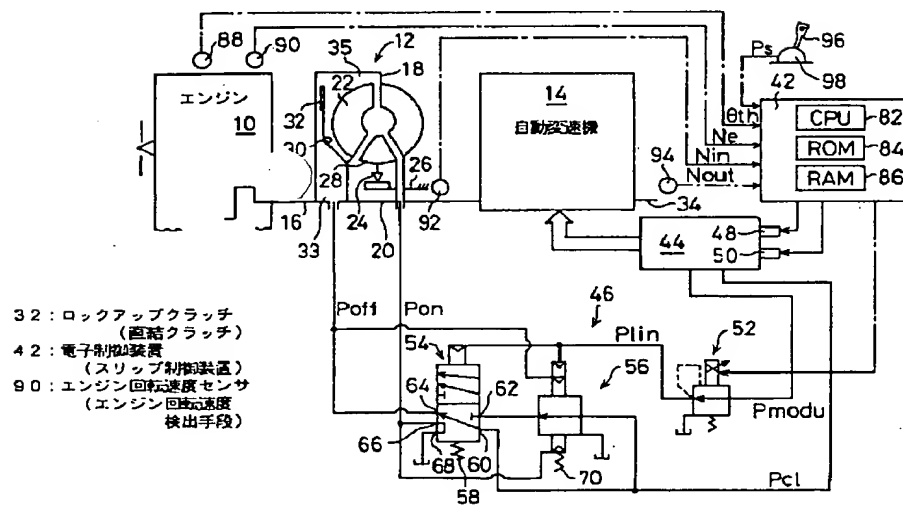
【図2】



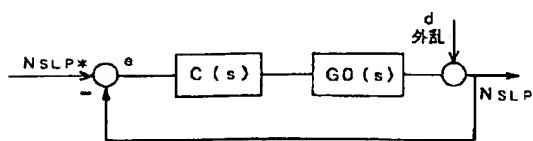
【図12】



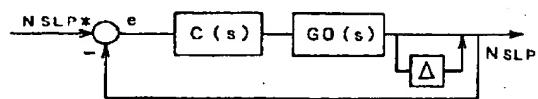
【図3】



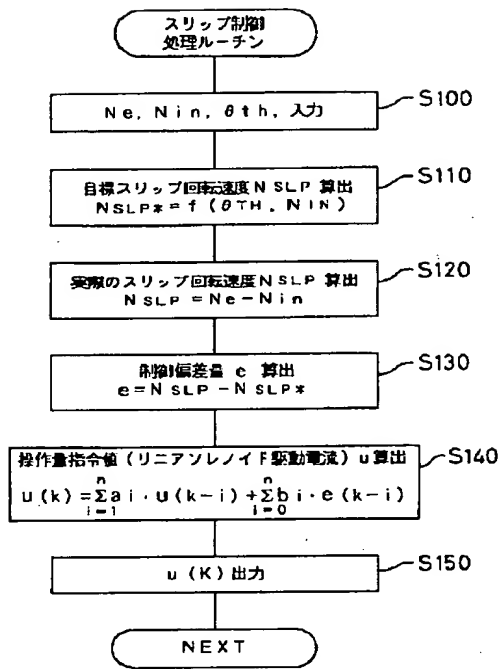
【図8】



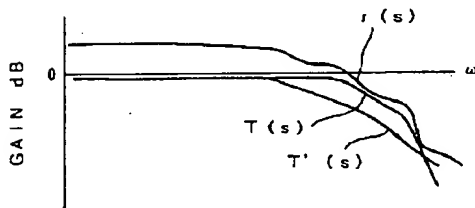
【図9】



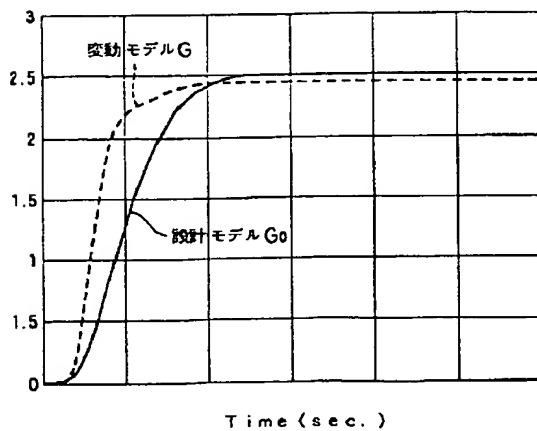
【図5】



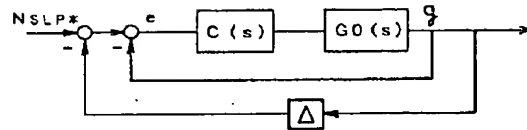
【図13】



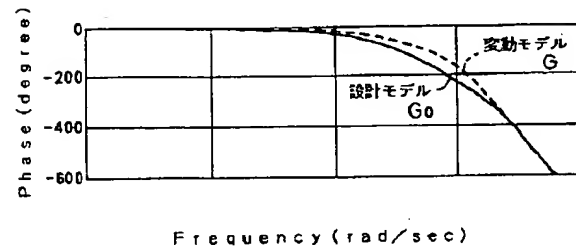
【図16】



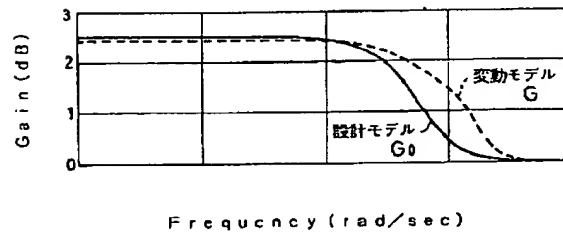
【図11】



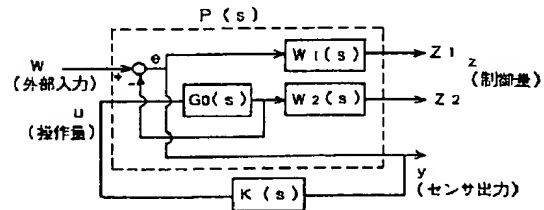
【図15】



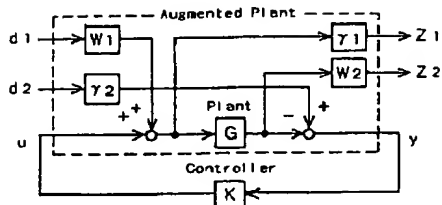
【図14】



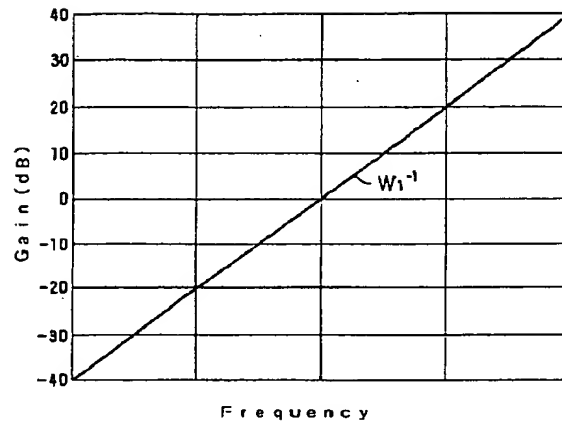
【図17】



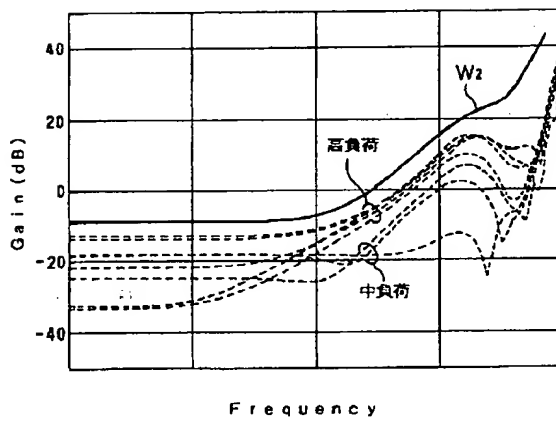
【図 35】



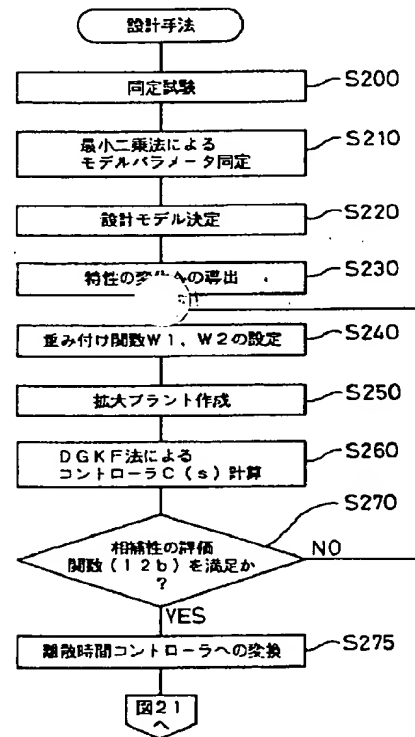
【図 18】



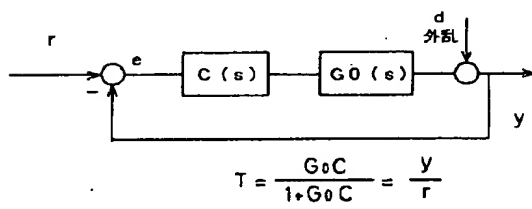
【図 19】



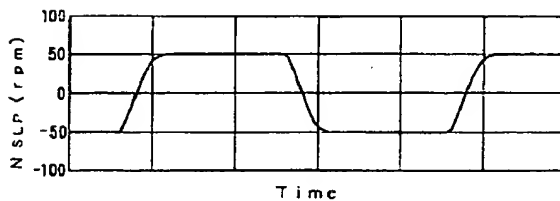
【図 20】



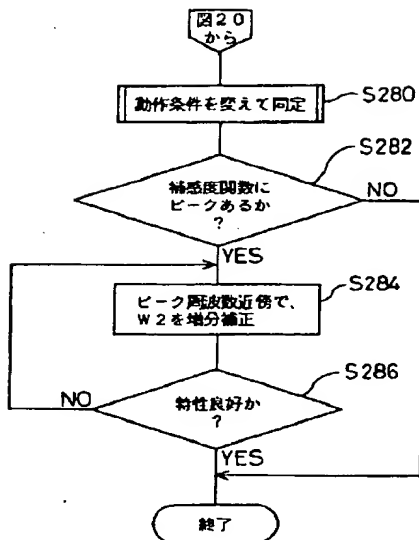
【図 23】



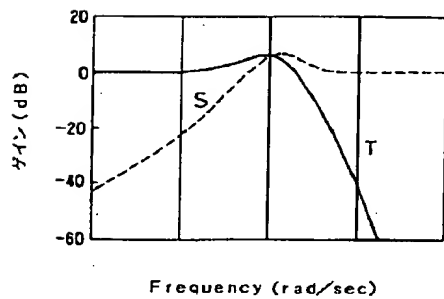
【図 31】



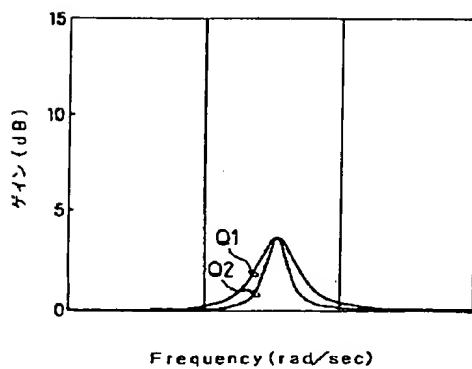
【図 21】



【図 24】



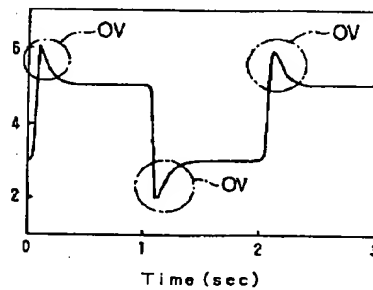
【図 26】



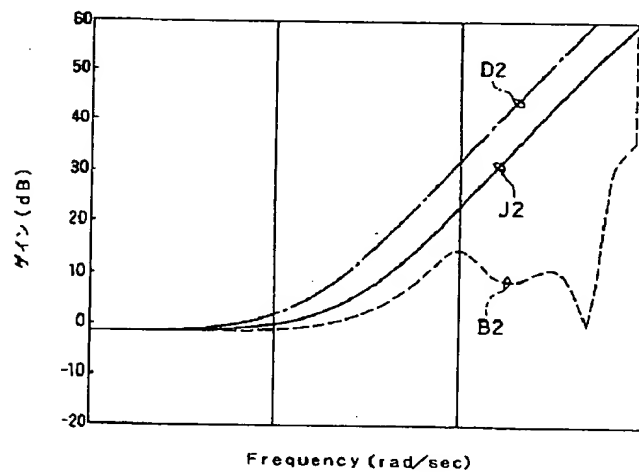
【図 22】

スリップ速度 (rpm)	50~100	110~150	160~200	200~240
エンジン負荷 (L/Rev)	0.4	0.6	0.8	1.000
タービン速度 (rpm)	1000	<N12	<N13	<2400
油温 (℃)	中	低	高	
経時変化	新しい車両	保証する最大限度まで経時変化させた車両		
車両間のばらつき	同一仕様の車両にて実施			

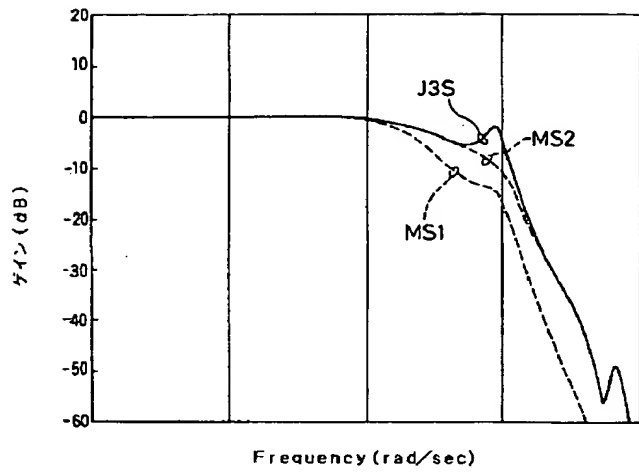
【図 25】



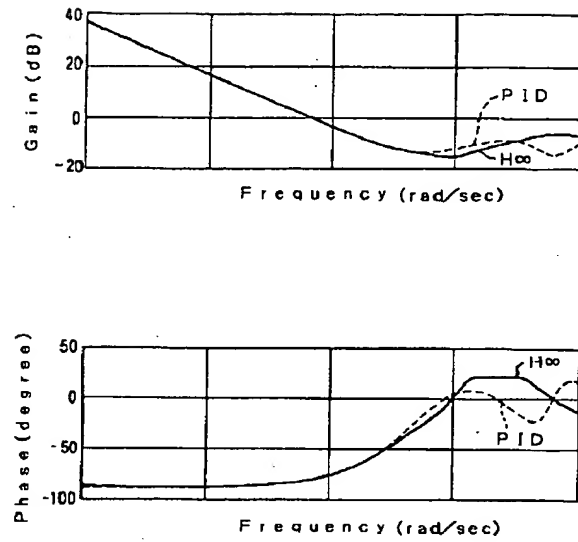
【図 27】



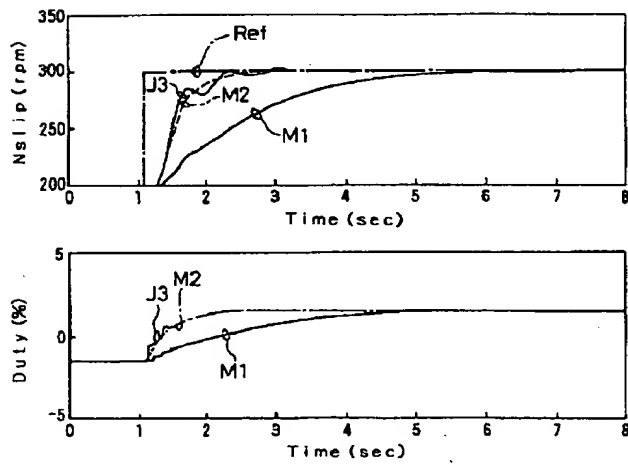
【図28】



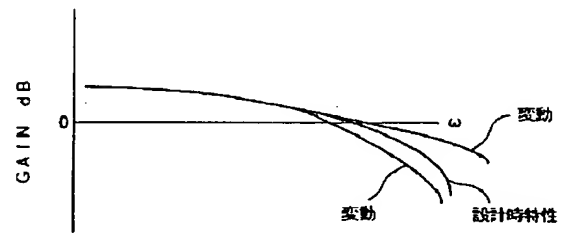
【図30】



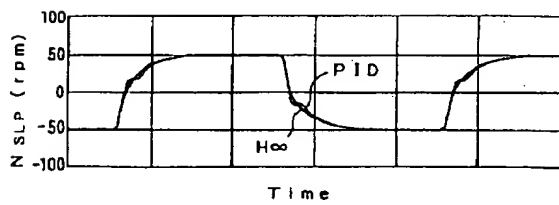
【図29】



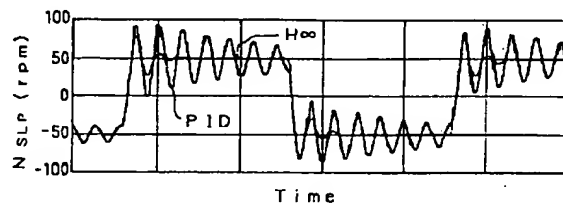
【図36】



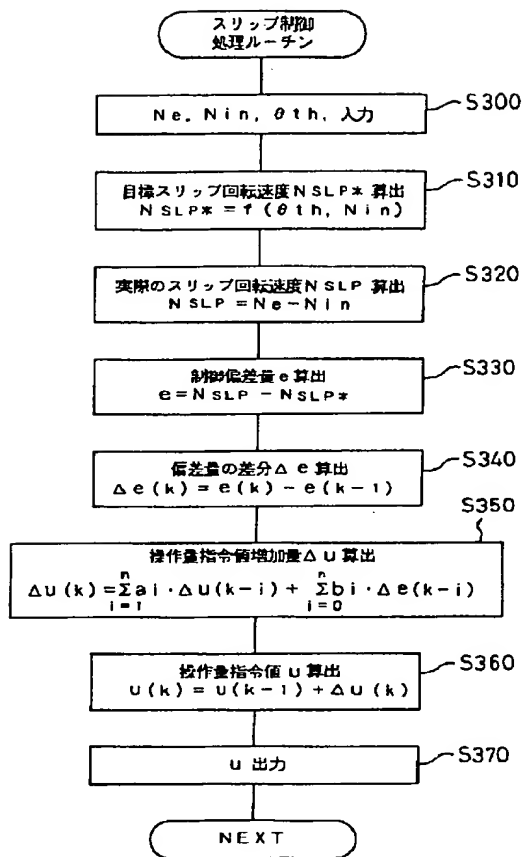
【図32】



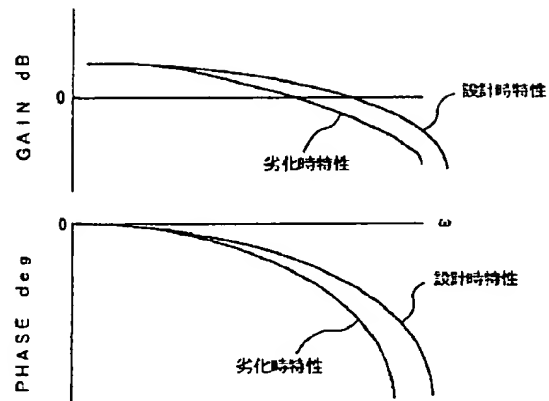
【図33】



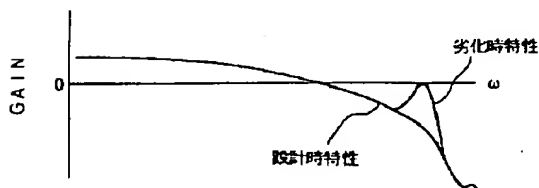
【図34】



【図37】



【図38】



フロントページの続き

(72)発明者 木挽 康志
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 大澤 正敬
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内
(72)発明者 日比野 良一
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内